

复合材料在航空器项目中的应用与管理研究

李清

中国航空制造技术研究院 北京 100024

【摘要】复合材料因其优异的力学性能和质量比已经广泛应用于航空器设计与制造,本文重点探讨了复合材料在航空器项目中的应用及其管理方法,分析了复合材料在航空器结构、内饰和发动机部件等方面的应用现状并阐述了复合材料在提升航空器性能、降低能耗方面的优势,还探讨了复合材料在航空器项目中的管理挑战并提出了相应的管理策略,合理利用复合材料并实施有效的管理措施可以显著提高航空器的整体性能和经济效益。

【关键词】复合材料;航空器;应用;管理;项目

Research on the application and management of composite materials in aircraft project

Li Qing

China Aviation Manufacturing Technology Beijing 100024

【Abstract】 Composite materials because of its excellent mechanical properties and quality ratio has been widely used in aircraft design and manufacturing, this paper focuses on the application of composite materials in aircraft project and management methods, analyzes the application of composite materials in aircraft structure, interior and engine parts and expounds the composite materials in improving aircraft performance, reduce energy consumption, also discusses the composite materials in aircraft project management challenges and put forward the corresponding management strategy, reasonable use of composite materials and implement effective management measures can significantly improve the overall performance and economic benefits of aircraft.

【Key words】 composite materials; aircraft; application; management; project

引言:

航空工业一直是推动材料科学和工程发展的重要驱动力,随着对航空器性能的不断追求,复合材料因其优异的力学性能、低密度和高耐腐蚀性等特点而备受青睐,复合材料的广泛应用不仅有助于提高航空器的结构强度和降低重量还可以降低能耗并延长使用寿命,然而复合材料的设计、制造和应用也带来了新的挑战,需要采取有效的管理措施来确保航空器项目的顺利实施和预期性能的实现。

一、复合材料在航空器结构中的应用

(一) 复合材料在机身结构中的应用

机身是航空器最重要的主体结构,需要承受各种复杂的载荷,同时还需要满足一定的空气动力学要求,传统的金属材料虽然具有良好的强度但密度较大,导致整机重量增加,影响航空器的燃油经济性,因此复合材料因其优异的比强度和比模量而被广泛应用于机身结构的设计和制造,常见的机身复合材料主要包括碳纤维增强树脂基复合材料、玻璃纤维增强树脂基复合材料和芳纶纤维增强树脂基复合材料等,其中碳纤维增强树脂基复合材料由于具有极高的比强度和比模量已经成为制造机身的主要材料,在喷气式民用飞机上机

身的大部分外皮和框架都采用了碳纤维复合材料,如波音787"梦想飞机"的机身结构中复合材料占比高达50%。近年来自动化的机身复合材料制造工艺不断发展,大大提高了生产效率和一致性,自动化铺层、压力箱固化成型、自动化缠绕成型等工艺的应用使复合材料机身结构的制造过程更加精确、可靠,同时新型树脂系统和纤维预浸料的开发进一步改善了复合材料的可加工性和复杂结构件的成型能力。

(二) 复合材料在机翼和尾翼结构中的应用

机翼和尾翼作为航空器的主要升力面和操纵面对整机性能至关重要,复合材料与传统金属材料相比可以有效降低机翼和尾翼的结构重量,同时提供良好的疲劳和损伤容限性能,以碳纤维增强树脂基复合材料为代表的先进复合材料已广泛用于制造机翼外皮、梁、肋等主承力结构,与金属结构相比,复合材料机翼可以减重20%以上,从而显著降低了整机重量和燃油消耗,复合材料还具有出色的疲劳特性和抗磨损能力,可以有效延长机翼的使用寿命。在尾翼结构上复合材料同样有广泛应用,例如波音787使用碳纤维复合材料制造了整个水平尾翼和垂直尾翼,这种单体元件设计不仅减轻了重量而且优化了结构强度和刚度分布,此外玻纤复合材料也常被用于制造尾翼的次级承力结构和装饰部件。复合材料机翼和尾翼结构的设计和分析需要先进的计算机辅助工程工具和建模方法,制造工艺的发展也为复杂的曲面结构件提供了可靠的成型解决方案,如自动纤维铺层成型、液压整体

模压成型等,未来随着新型纤维和树脂体系的不断推出,复合材料在航空器机翼和尾翼结构中的应用将会更加广泛和深入。

二、复合材料在航空器内饰中的应用

(一) 复合材料在座椅和舱壁中的应用

复合材料也广泛用于飞机内饰系统如座椅、舱壁等,利用复合材料设计和制造这些内饰部件不仅可以减轻重量、节省空间还可以提供良好的抗冲击性能和耐火性能,满足航空器内饰对安全性的严格要求,在座椅系统中玻璃纤维增强聚酯复合材料、碳纤维增强环氧树脂复合材料等被广泛应用,这些复合材料座椅比传统金属座椅更加轻便,质量仅为后者的一半左右,有利于提高载客量或增加有效货运量,复合材料还具有优异的耐蚀和抗疲劳性能,可以延长座椅的使用寿命,此外一些特殊的阻燃树脂体系赋予了复合材料良好的防火性能,满足航空器座椅的严格防火等级要求。在舱壁部件中蜂窝夹芯复合材料凭借其轻质、高刚度的特点广泛用于制造侧壁、顶壁等舱壁结构,这种夹芯结构不仅重量轻而且能有效吸收冲击能量,提高乘客的安全性,采用适当的树脂和芯材还可以赋予舱壁良好的阻燃性和隔音性,改善乘客的飞行体验,目前碳纤维和芳纶纤维增强树脂基复合材料在舱壁上也有应用,可以进一步提升强度和模量。

(二) 复合材料在货舱和行李舱中的应用

在航空器货舱和行李舱系统中复合材料也发挥着重要作用,由于航空货运量的不断增长,对货舱和行李舱结构的轻量化和可靠性提出了更高要求,这为复合材料的大规模应用提供了契机,货舱和行李舱的主体结构通常采用蜂窝夹芯复合材料制造,具有良好的刚度和强度,玻纤增强聚酯蜂窝夹芯面板、芳纶增强环氧蜂窝夹芯面板等是常见的选择,相比传统的铝合金蜂窝面板具有更高的比刚度和比强度,这些面板还具备出色的耐蚀性和抗疲劳性,可以大大延长货舱和行李舱的使用寿命。货舱和行李舱的其他部件也广泛采用复合材料,如地板装饰板、隔板、框架等,采用玻璃纤维增强聚酯复合材料或碳纤维增强聚酯复合材料制成,这些部件不仅轻质而坚固还能够满足防火和抗冲击等严格要求。随着复合材料工艺技术的进步,如大规模柔性成型技术的发展将进一步推动复合材料在货舱和行李舱中的广泛应用,为航空器提供更加优化的轻量化解决方案,提高航空器的运营经济性和环境友好性。

三、复合材料在航空器发动机中的应用

(一) 复合材料在发动机叶片中的应用

航空发动机叶片是关键的热端部件,工作环境极其恶劣,需要承受高温、高压、高应力等严苛条件,先进的复合

材料因其优异的力学性能和耐高温性能而广泛应用于发动机叶片的制造,在民用航空发动机中玻璃纤维/聚酰亚胺(GF/PI)复合材料和碳纤维/聚酰亚胺(CF/PI)复合材料是制造风扇叶片的首选材料,这些热塑性复合材料不仅具有出色的比强度和刚度还具有优异的耐热性和抗氧化性,可以在350℃以上的环境中长期使用,相比传统的钛合金风扇叶片,GF/PI和CF/PI复合材料叶片可以减重40%以上,从而显著提高了发动机性能和燃油效率。在军用航空发动机中碳/碳(C/C)复合材料因其出色的耐高温性能广泛应用于压气机和涡轮叶片的制造,C/C复合材料可以在常温至2000℃的环境中使用,远远超过了金属材料的使用温度极限,虽然C/C复合材料成本较高但其卓越的力学性能和热学性能使其在航空发动机极端工况下的应用不可替代。

(二) 复合材料在发动机外壳中的应用

发动机外壳是航空发动机的主要部件之一,主要起到保护和承载内部部件的作用,由于发动机外壳需要承受较高的机械载荷和温度,因此对材料的强度、刚度、耐热性有很高要求,复合材料由于其优异的比强度、比刚度和热学性能已经广泛应用于各类航空发动机外壳的制造,玻璃纤维增强环氧树脂复合材料和碳纤维增强环氧树脂复合材料是发动机外壳常用的材料,这些复合材料不仅具有良好的力学性能而且具有出色的耐热性和耐化学腐蚀性,可以在200℃左右的高温环境中长期使用,复合材料外壳与传统金属外壳相比重量可以减轻20%以上,从而提高了发动机的推重比、降低了燃油消耗。目前一体化缠绕成型技术和注蜡成型工艺在复合材料发动机外壳制造中得到了广泛应用,可以实现外壳一次成型,提高了制造效率和部件性能,此外通过调整纤维排列方向和体积分数还可以优化发动机外壳在不同方向的力学性能,满足实际使用需求。

四、复合材料在航空器项目中的管理挑战

(一) 材料选择和性能评估

复合材料在航空器项目中的广泛应用给材料选择和性能评估带来了新的挑战,复合材料种类繁多,各自具有不同的力学性能、热稳定性、耐腐蚀性等,需要根据不同的应用环境和性能要求进行合理选择,此外复合材料的各向异性和层合行为也使其性能评估更加复杂,首先针对特定的结构件需要根据其所承受的载荷类型、应力水平、工作温度等选择合适的纤维和树脂体系,并优化纤维体积分数和排列方向以获得所需的力学性能,例如在机身结构中需要高强度和高刚度,因此碳纤维增强环氧树脂复合材料往往是理想之选,而在内饰部件中玻璃纤维增强聚酯复合材料则更加经济。其次由于复合材料存在层合行为,其力学性能受制造缺陷和环境条件的影响较大,需要对潜在的失效模式进行充分评估,层间剥离、纤维/基体界面破坏等现象可能导致复合材料的早

期失效,因此必须采取有效的试验方法对这些行为进行表征和评价,此外还需考虑环境因素如温度、湿度、紫外线等对复合材料长期性能的影响。

(二) 制造工艺控制和质量检测

复合材料制造过程的复杂性也给工艺控制和质量检测带来了巨大挑战,复合材料制造涉及复杂的固化反应过程,受到更多因素的影响,不同制造工艺也对材料性能产生显著影响,因此对制造工艺的精确控制至关重要,首先在手糊工艺中需要严格控制层压温度、压力、真空度等参数以确保树脂完全固化和最小化空隙和夹杂物,自动化铺层工艺虽然可以提高效率但需要实时监测复合纤维的张力和位置,避免纤维扭曲和移位,对于复杂结构件的成型,模具设计和成型参数控制也是关键环节。其次复合材料制品的质量检测也是一个巨大挑战,由于复合材料内部存在复杂的层合结构,常规的无损检测手段难以有效检测潜在缺陷,需要采用先进的超声、X射线、红外热成像等无损检测技术并结合统计分析和人工智能算法才能及时发现并评估缺陷对性能的影响。另外复合材料制品的力学性能测试也更加复杂,需要采取恰当的试样制备和试验方法并充分考虑各向异性 and 层合行为等因素才能准确获得复合材料的力学性能数据,总之复合材料项目的质量保证需要更加严格和全面的管控措施。

五、复合材料项目管理策略

(一) 材料数据管理和知识共享

有效的材料数据管理和知识共享对于复杂的复合材料航空器项目而言至关重要,复合材料种类繁多,每种材料都具有独特的力学、热学和化学性能,这需要系统地收集、整理和存储大量的材料数据,同时不同组分和制造工艺对复合材料性能的影响也需要充分理解和掌握,建立标准化的材料数据库是管理复合材料数据的基础,该数据库应当包含各种复合材料的物理、化学、力学等性能参数以及相关的试验数据和分析报告,工程师可以通过数据库快速查阅所需信息,为材料选择和设计优化提供支持,还应将先进的建模和模拟工具与数据库相结合以预测和评估复合材料在不同工况下的性能表现。另外跨团队、跨机构的知识共享对于促进复合材料技术发展至关重要,复合材料技术涉及材料、制造、结

构等多个领域,需要各方面专家的协作与交流,建立高效的知识共享平台如专家论坛、在线课程等可以有效促进知识和经验的传播,避免重复工作,提高工作效率。最后持续的人员培训也不可或缺,复合材料技术日新月异,相关人员需要不断学习并掌握新理论、新工艺和新标准以保持自身的专业素质,定期组织培训班、研讨会等,邀请行业内外专家分享最新研究成果和应用案例可以极大地提高团队的综合素质。

(二) 制造过程优化和自动化

由于复合材料制造往往耗时耗力且对工艺参数控制要求苛刻,因此通过工艺优化和自动化将大幅提升生产能力,首先通过数字化技术优化复合材料制造工艺,利用计算机模拟和虚拟现实技术可以预测和优化工艺参数,评估并减少潜在缺陷,从而提高制造质量和一致性,例如通过模拟分析树脂流动和固化行为可以优化模具设计和成型参数,减少空隙和缺陷,大数据分析和机器学习算法也可以应用于工艺优化,从海量生产数据中发现规律,持续改进工艺。其次推进复合材料制造自动化是实现规模化生产的必由之路,自动化技术如自动纤维铺层系统、自动化切割系统等可以大幅提高生产效率、降低人工成本,机器人自动化工作站的应用可以实现复杂结构件的自动化制造,此外无人机和自动导引车辆等移动机器人技术也有望在复合材料大型部件运输和装配中发挥重要作用。最后数字化车间的建立将进一步推动复合材料制造的智能化,通过将自动化设备、工艺软件、质量检测系统等有机整合并融入人工智能技术可以实现制造流程的自主优化和智能控制,最大限度提高生产效率和质量水平。

结束语

复合材料在航空器领域的应用前景广阔,但也面临着诸多挑战,本文分析了复合材料在航空器结构、内饰和发动机等方面的应用现状并探讨了复合材料项目管理中的关键问题和策略,通过有效的材料选择、制造工艺控制和项目管理可以最大限度地发挥复合材料的优势,提高航空器的整体性能和经济效益,未来随着复合材料技术的不断发展和管理经验的积累,复合材料在航空器项目中的应用将更加广泛和深入。

参考文献

- [1]马全胜,李俊含,田思钺.热塑性复合材料的成型工艺及其在航空器中的应用[J].化工新型材料,2022,50(06):263-266+271.
- [2]吴双.石墨烯-高分子复合材料的制备及在航空领域的应用[J].民用飞机设计与研究,2021,(04):114-117.
- [3]肖遥,李东升,吉康,等.大型复合材料航空件固化成型模具技术研究与应用进展[J].复合材料学报,2022,39(03):907-925.
- [4]黄亿洲,毛天培,王志瑾,等.复合材料在航空器设计上的应用与优化[J].山东工业技术,2021,(03):64-68.
- [5]陈冠旭,赵立杰,李淑萍,等.通用航空领域复合材料制备工艺的研究[J].科技创新导报,2020,17(20):8-10+256.